26745 DUP.

Etude

Projet N° 301

IGM85-301-235
CNRC 26745

REVETEMENT REFRACTAIRE POUR ELECTRODE EN GRAPHITE

RAPPORT DE LA DEUXIÈME SÉRIE D'ESSAIS
À L'ACIERIE STELCO, EDMONTON, ALBERTA
SEPTEMBRE 1985.

par

D. Spino et H. Levert

Institut de génie des matériaux (IGM)
Conseil national de recherches du Canada (CNRC)
75, boul. de Mortagne
Boucherville, Québec, Canada J4B 6Y4

REVETEMENT REFRACTAIRE POUR ELECTRODE EN GRAPHITE

"Rapport de la deuxième série d'essais
à l'aciérie Stelco, Edmonton, Alberta, septembre 1985".

1.0 RESUME

Une deuxième série d'essais sur des électrodes en graphite revêtues d'un revêtement réfractaire a eu lieu durant la semaine du 23 septembre 1985, à l'aciérie Stelco, Edmonton, Alberta. Cette série d'essais fait suite à une première dont les résultats ont été rapportés dans le rapport IGM85-301-205.

Le but principal des derniers essais était de vérifier certains résultats obtenus en laboratoire, lesquels avaient démontré l'importance de la couche initiale (Ti) sur l'adhésion du revêtement sur le substrat en graphite à des températures critiques évaluées entre 800 et 1100°C.

Il a été démontré qu'une couche de Ti trop mince, de trop faible densité linéaire et discontinue, engendre un décollage prématuré du revêtement et conséquemment l'oxydation du graphite à basses températures. Une telle situation avait été observée lors de la première série d'essais en usine et reproduite en laboratoire. En cours des derniers essais, aucun signe de défaillance du revêtement dû à son décollage prématuré n'a été observé; sa dégradation s'étant effectuée dans la direction du gradient thermique.

Comparativement aux essais industriels précédents, les derniers sont positifs en raison du fait que le revêtement est demeuré en place jusqu'à ce qu'il atteigne les températures les plus élevées estimées entre 1200 et 2500°C.

Cependant, les taux de consommation de graphite sont sensiblement les mêmes que ceux réalisés lors de la première série d'essais soit en moyenne, 9.0 livres de graphite par tonne d'acier coulé *.

Cette performance relativement faible qui se situe dans la moyenne des taux de consommation actuels à l'aciérie Stelco, peut s'expliquer en grande partie par possiblement une faible résistance du revêtement aux attaques chimiques de l'acier et des scories qui en cours d'opération éclaboussent la surface des électrodes et réagiraient chimiquement avec le revêtement. Une telle situation entraînerait une dégradation rapide de ce dernier, laissant la surface de l'électrode dénudée.

Une modification dans la composition du revêtement qui le rendrait plus résistant au phénomène d'écrit, pourrait résulter en des taux de consommation réduits.

* Selon la méthode de calcul de Stelco.

2.0 DETAILS

Pour la présente série d'essais, une procédure identique à la série précédente a été suivie, sauf que cette fois, les essais ont été effectués sur trois électrodes au lieu de deux, afin de permettre une meilleure évaluation. Les électrodes ont été identifiées NRC-3, 4 et 5. Les dimensions d'une électrode sont 18 po. diam. X 84 po. long.

2.1 PROJECTION PAR PLASMA DU REVETEMENT

Les paramètres pertinents à la torche à plasma et le mode d'alimentation des poudres Ti et Al-35% SiC sont fournis au tableau I alors que le tableau II contient des données relatives à la consommation ainsi que les temps et taux de projection des poudres.

2.2 EPAISSEUR DU REVETEMENT

Le tableau III donne les épaisseurs de revêtements obtenues sur les électrodes NRC 3, 4 et 5. Ces épaisseurs ont été vérifiées de deux façons dont une première, laquelle s'est avérée fort pratique, consistait à revêtir une pièce en Al fixée à une des extrémités des électrodes telle qu'illustrée dans la figure 1. Cette technique permet des mesures des diverses couches successives en cours de projection entre chaque passe et un examen microscopique une fois les essais terminés. La deuxième façon a été de prélever un petit échantillon du revêtement sur les électrodes mêmes et d'effectuer des mesures par microscopie. La figure 2 montre des vues microscopiques des revêtements.

Les examens et mesures effectués permettent de conclure que les revêtements réalisés à l'atelier Plasmarco, sont de la même nature que ceux qui ont produit les meilleurs résultats en laboratoire.

2.3 EVALUATION DU REVETEMENT

L'évaluation du revêtement des trois électrodes s'est effectuée en quatre étapes sur le four à arc "D", phase "A". Comme pour les essais précédents, les taux de consommation ont été mesurés à la fin de chaque étape alors que la section inférieure de la colonne d'électrodes est presque totalement consommée.

La figure 3 montre la séquence des quatre étapes durant lesquelles les électrodes expérimentales ont été consommées. Des observations ont été faites pendant les deux premières fusions de chaque étape. Contrairement aux essais de mars 1985, aucun signe de décollage du revêtement n'a été observé principalement dans la zone située immédiatement au-dessus et à travers la voûte du four. On estime que les températures dans cette zone varient entre 800 et 1100°C, l'écart pouvant être plus grand selon le degré de consommation de l'électrode et le mode d'opération du four.

Pour l'électrode NRC-4 (première électrode mise en service), il existe une incertitude quant aux premiers signes de dégradation que l'on associe à la condensation de scories sur la surface de l'électrode. La seule certitude est qu'à la fin de la deuxième fusion, soit environ 7 heures d'opération, le revêtement protégeait environ 60% de la surface de l'électrode dans sa zone supérieure.

Dans le cas de l'électrode NRC-5 (deuxième électrode mise en service), on a observé une dégradation rapide du revêtement dans la zone inférieure de l'électrode exposée aux plus hautes températures ($>$1200°C) en cours de la deuxième fusion de l'étape No. 2.

Cette dégradation rapide qui s'est produite à environ 7 heures d'opération, faisait suite à l'observation de scories sur la surface de l'électrode. Après 8 heures 30 min. d'opération, 50% du revêtement était toujours en bon état dans la partie supérieure de cette électrode.

Le personnel de l'IGM n'a pu être témoin de la mise en service de la troisième électrode (NRC-3). Cependant, un observateur de Stelco confirme que le revêtement n'a pas décollé durant la première fusion de la 3e étape, indiquant que sa dégradation se serait produite de façon similaire aux deux premières électrodes testées.

2.4 TAUX DE CONSOMMATION DE GRAPHITE

Le tableau IV donne les taux de consommation de graphite ainsi que certains détails pertinents aux fusions. Selon la méthode de calcul utilisée par Stelco, les taux de consommation sont 9.15, 9.15, 9.52 et 8.1 livres de graphite par tonne d'acier coulé au cours des étapes de consommation Nos. 1, 2, 3 et 4 respectivement, pour une moyenne de 9.0 lbs/tonne.

2.5 COMPARAISON DES RESULTATS

En comparaison avec les résultats obtenus sur les électrodes NRC-1 et NRC-2 en mars 1985, les derniers montrent aucun gain notable ou réduction du taux de consommation de graphite.

Pour les deux séries d'essais, les gains s'il y a, se perdent dans les statistiques accumulées par Stelco, lesquelles indiquent des variations de l'ordre de 15 à 20% dans les taux de consommation de graphite.

Néanmoins, les résultats des derniers essais ont un élément très positif, soit le fait que le revêtement des trois électrodes n'a pas décollé comme on l'avait observé lors des essais précédents, en mars 1985.

Cette fois, la dégradation du revêtement a été progressive dans le sens du gradient thermique le long de l'électrode. Cependant, on croit que la dégradation relativement rapide du revêtement aux températures les plus élevées serait en grande partie due aux éclaboussements d'acier et de scories qui éventuellement réagiraient avec le revêtement.

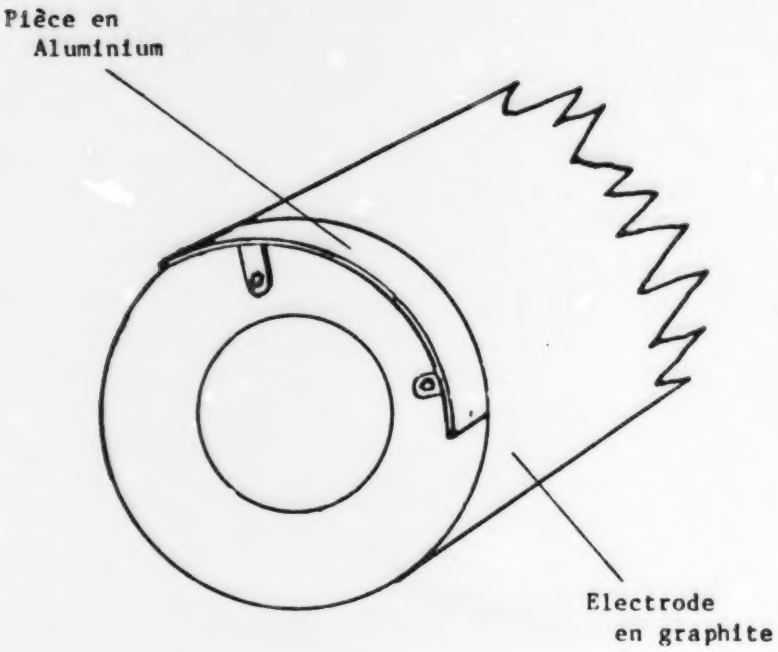

Figure 1: Pièce témoin en Al, fixée à l'électrode en graphite, sur laquelle des mesures d'épaisseurs et de densité linéaire peuvent être effectuées en cours de projection entre les diverses passes.

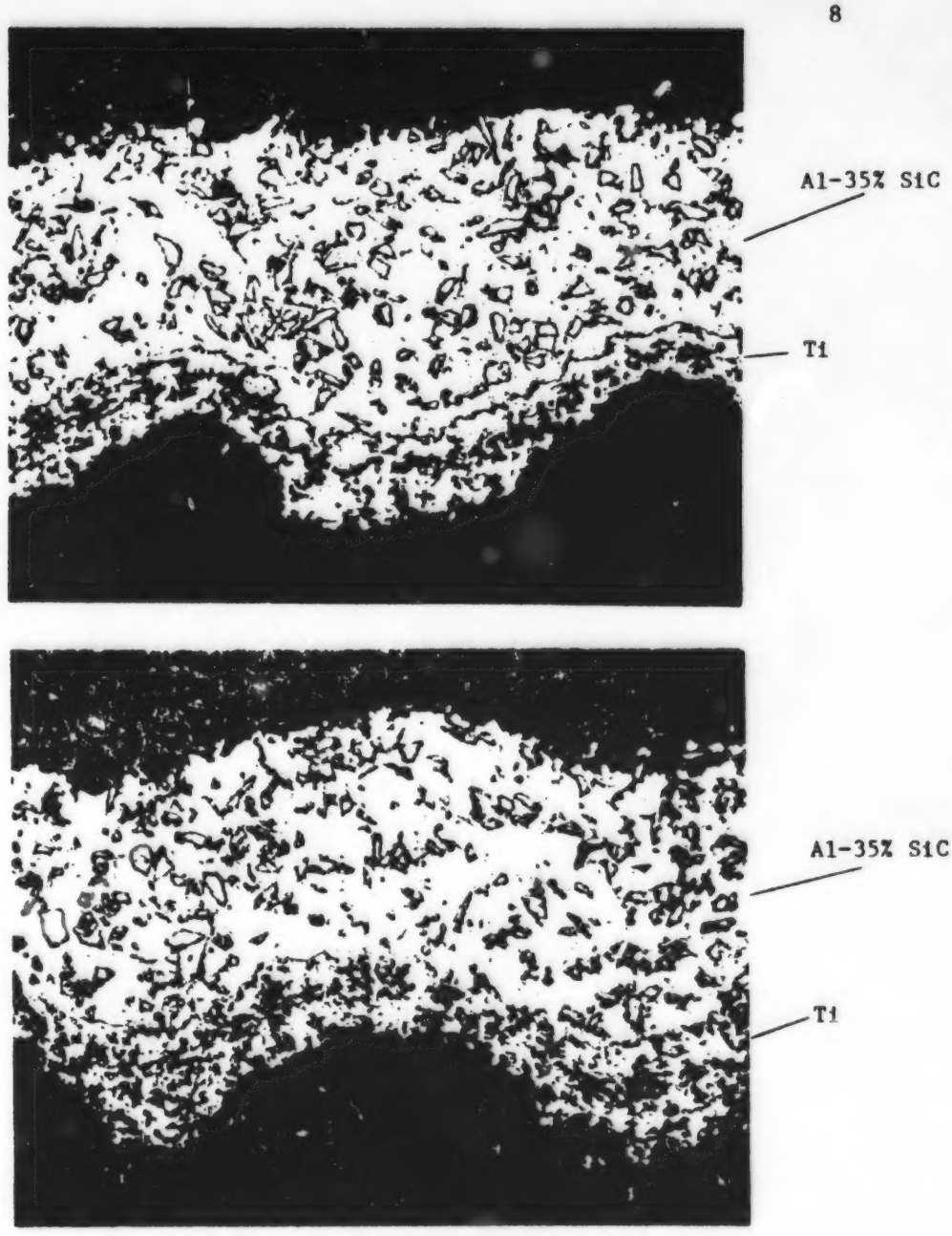

Figure 2: Section transversale des revêtements sur les électrodes NRC-5 en (a) et NRC-3 en (b). (X 100).

TABLEAU I

PARAMÈTRES DE PROJECTION PAR PLASMA DE LA POUDRE DE TI ET DE LA POUDRE AL-35% SIC SUR LA SURFACE DES ÉLECTRODES NRC-3, 4 ET 5.

Paramètres	Ti	Al-35% SiC
Vitesse de rotation de l'électrode, RPM	30	
Distance de projection, cm (po)	10 (4)	7.5 (3)
Puissance, amp., volt.	800, 46	600, 46
Gaz d'arc, type, lb/po^2, pi^3/hre.	Ar, 50, 106	
Gaz auxiliaire, type, lb/po^2, pi^3/hre.	H_2, (——), 4.77	
Gaz porteur, type, lb/po^2, pi^3/hre.	Ar, 40, 14	
Mode d'injection de la poudre	externe	
Equipements auxiliaires	Jet d'air comprimé (30 lb/po^2), système de fuite contrôlé.	

TABLEAU II

DONNÉES RELATIVES À LA PROJECTION PAR PLASMA DE LA POUDRE DE Ti (1) ET DE LA POUDRE Al-35% SiC (2) SUR LA SURFACE DES ÉLECTRODES NRC-3, 4 ET 5.

Identification de l'électrode	Quantité de poudre projetée sur l'électrode (g)		Temps total de projection (3) (min.)		Vitesse moyenne de balayage transversal (cm/min.)		Taux moyen de projection (g/min.)	
	Ti	ALSiC	Ti	ALSiC	Ti	AlSiC	ti	ALSiC
NRC-3	2470	3920	74	110	4.95	3.71	33.4	35.6
NRC-4	-	3800	89	112	4.71	3.73	-	33.9
NRC-5	2314	3894	89	118	4.90	3.50	26.0	33.0

(1) Titane, Herman C. Stark, -63µm, R/N 31026-5-3659

(2) Aluminium, Alcan MD105 et carbure de silicium, Pascal 320 mesh, agglomérées par "spraydrying", lot "C", SPD 82 à 87, référence cahier de laboratoire No. 292 (H. Levert).

(3) Projection de chaque poudre effectuée en deux (2) passes.

TABLEAU III

ÉPAISSEURS MOYENNES DES REVÊTEMENTS
OBTENUES SUR LES ÉLECTRODES NRC-3, 4 ET 5
EN COMPARAISON AVEC CELLES OBTENUES SUR LA PIÈCE TÉMOIN EN ALUMINIUM

Identification de l'électrode	Pièce en aluminium		electrode en graphite	
	Ti (mm)	AlSiC (mm)	Ti (mm)	AlSiC (mm)
NRC-3	.157	.394	.140	.374
NRC-4	.135	.357	-	-
NRC-5	.123	.419	.123	.388

TABLEAU IV

DONNÉES PERTINENTES À LA CONSOMMATION DES ÉLECTRODES EN GRAPHITE REVÊTUES, NRC-3, 4 ET 5, DURANT LES QUATRES ÉTAPES DE MISE EN SERVICE SUR LE FOUR À ARC "D", PHASE "A", À L'ACIÉRIE STELCO

Etape et montage des électrodes	Perte en graphite (kg)	tonnes d'acier fondu	tonnes d'acier coulé	Nombre de fusions	Durée totale fusions (hres)	Temps sous tension électr. (hres)	Taux de consommation en lb/tonne d'acier (1)	(2)	(3)
No. 1 NRC-4/Stelco	560	407.5	404	5	17.3	11.4	3.02	3.05	9.15
No. 2 NRC-5/NRC-4	533	404	384(4)	5	15.2	10.5	2.90	3.05	9.15
No. 3 NRC-3/NRC-5	570	417.5	399.5	5	16.2	10.7	3.0	3.14	9.52
No. 4 Stelco/NRC-3	675	578.5	553.7	7	24.7	14.2	2.6	2.7	8.1

(1) En rapport au tonnage d'acier fondu, phase "A" seulement.

(2) En rapport au tonnage d'acier coulé, phase "A" seulement.

(3) Selon la méthode statistique de Stelco, assumant une consommation égale sur les tr phases en rapport avec le tonnage d'acier coulé.

(4) Estimé à 95% du tonnage d'acier fondu.